

На правах рукописи

**ПАВЛОВ ДМИТРИЙ АНДРЕЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОГО СПОСОБА ОБЖАТИЯ  
НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ  
НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА**

Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Екатеринбург – 2013**

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор Богатов Александр Александрович

**Официальные оппоненты:**

Паршин Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина», заведующий кафедрой «Металлургические и роторные машины»

Смирнов Николай Аркадьевич, кандидат технических наук, ОАО «Уралгипромез» (Екатеринбург), заместитель начальника трубопрокатного отдела.

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)

Защита диссертации состоится «27» декабря 2013 г. в 15 часов 00 мин на заседании Диссертационного совета Д212.285.04 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по адресу: 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 28, в ауд. МТ-329.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Автореферат разослан «25» ноября 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Л.А. Мальцева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время при производстве труб используется как катаная, так и непрерывно-литая заготовка. Использование непрерывно-литой заготовки является экономически более выгодным, так как при этом исключается дополнительная операция прокатки. Кроме того применение непрерывно-литых заготовок позволяет значительно уменьшить обрезь металла, увеличить выход годного, повысить производительность трубопрокатного агрегата и улучшить условия труда. Таким образом, для трубных заводов актуальной задачей на сегодняшний день является разработка технологии производства труб из непрерывно-литой заготовки. На ТПА-80 ОАО «СинТЗ» была разработана технология производства труб из непрерывно-литой заготовки. В линии ТПА был установлен трехвалковый обжимной стан радиально-сдвиговой прокатки (РСП). В результате модернизации существующей технологии производства труб на ТПА-80 достигнуто снижение себестоимости труб на 10%, повышена производительность агрегата на 15%, увеличен выход годного с 98,8% до 99,08%. Применение непрерывно-литых заготовок после обжатия позволило улучшить условия прошивки, в результате чего уменьшилась разностенность получаемых гильз в среднем на 1-2%, а износостойкость линеек повысилась на 8-10%. Были найдены рациональные режимы обжатия непрерывно-литой заготовки диаметром 156 мм до диаметра 120 мм, которые обеспечили получение мелкозернистой структуры стали перед прошивкой. При освоении новой технологии возникла проблема, связанная с образованием утяжин на концах заготовки после РСП, являющихся причиной отрыва кольцевых отслоений при прошивке и увеличения объема брака по вмятинам на поверхности труб. Для минимизации глубины утяжин и снижения уровня брака труб по вмятинам эффективным является профилирование заднего конца непрерывно-литой заготовки в процессе радиально-сдвиговой прокатки на трехвалковом обжимном стане. Однако для реализации процесса профилирования заднего конца заготовки требуется произвести реконструкцию входной стороны трехвалкового обжимного стана. В связи с этим разработка эффективной технологии производства труб

нефтяного сортамента из непрерывно-литых заготовок с использованием операции профилирования заднего конца заготовки в процессе прокатки в трехвалковом обжимном стане радиально-сдвиговой прокатки является актуальной научно-технической задачей.

Исследование производилось в рамках договора с ОАО «СинТЗ» №130011001208/075, а также программы поддержки молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ на 2010 – 2020 годы (по договорам № 1.2.1.5./58 от 01.07.2012 г. и № 1.2.1.5./58 от 27.05.2013 г.).

**Цели и задачи работы.** Целью работы является повышение качества труб из непрерывно-литой заготовки за счет минимизации глубины утяжины на заднем торце заготовки в процессе радиально-сдвиговой прокатки. Для достижения указанной цели в работе сформулированы и решены следующие задачи:

- разработать новый способ обжатия непрерывно-литой заготовки в трехвалковом стане РСП с целью повышения качества труб, изготавливаемых на ТПА-80;
- исследовать формоизменение заготовки в процессе прокатки в трехвалковом обжимном стане с целью поиска оптимальной формы заднего конца, позволяющего минимизировать глубину утяжин на заднем торце заготовки;
- произвести физическое и математическое моделирование нового процесса обжатия заготовки с целью поиска оптимальной калибровки инструмента деформации и режимов обжатия для получения требуемой формы заднего конца заготовки;
- изучить влияние температурных полей на формоизменение концевой части заготовки;
- составить технологическое задание на разработку эскизного проекта реконструкции оборудования входной стороны обжимного стана ТПА-80.

**Научная новизна, ценность для науки и практики:**

- установлены влияние формы конца заготовки на глубину утяжины и толщина кольцевого отслоения, образующихся соответственно при прокатке в трехвалковом обжимном и прошивном станах;

- разработан новый способ обжатия, в ходе которого процессы профилирования заднего конца заготовки в виде усеченного конуса и прокатки в трехвалковом обжимном стане происходят одновременно;
- установлены закономерности формоизменения металла заготовки в процессе профилирования конца заготовки и даны рекомендации по разработке калибровки бойков и режимам обжатия;
- определено влияние температурных полей на формоизменение концевой части заготовки.

**Практическую ценность представляют следующие результаты работы:**

- основные технические требования и чертежи эскизного проекта реконструкции входной стороны трехвалкового обжимного стана ОАО «СинТЗ»;
- рабочий проект устройства для моделирования процесса профилирования заднего конца заготовки на трехвалковом обжимном стане;
- калибровка инструмента деформации и режимы обжатия, позволяющие получать требуемую, с точки зрения минимизации глубины утяжины, форму заднего конца заготовки перед процессом прокатки в трехвалковом обжимном стане радиально-сдвиговой прокатки.

**Методы исследования и достоверность результатов.** Для исследования процессов профилирования конца заготовки и прокатки в трехвалковом обжимном стане использовались математическое моделирование, физическое моделирование, а также промышленные испытания. Математическое моделирование было проведено с помощью программного комплекса Deform-3D, основанного на методе конечных элементов, физическое моделирование было проведено на лабораторной установке, при этом в качестве материала для моделирования использовался скульптурный пластилин. Промышленные испытания были проведены на ТПА-80 ОАО «СинТЗ». Результаты исследования,

полученные в ходе математического моделирования близки к результатам промышленных испытаний.

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается сходимостью расчетных данных с результатами промышленных и лабораторных экспериментов.

**Результаты диссертационной работы** использованы при разработке технологического задания на реконструкцию оборудования входной стороны трехвалкового обжимного стана ТПА-80 ОАО «СинТЗ» и при модернизации лабораторного трехвалкового стана кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации и ее отдельные результаты доложены и обсуждены на: IX Конгрессе прокатчиков (г. Череповец, 2013); XIV Международной научной конференции «Новые технологии и достижения в металлургии и материаловедении», (г. Ченстохова, 2013); X Международной научно-практической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (г. Санкт-Петербург, 2013); VI международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина» (г. Екатеринбург, 2012); XVIII Международной промышленной выставке «Металл-ЭКСПО»(г. Москва, 2012).

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 5 печатных работах, из них 2 статьи – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, подготовлена заявка на изобретение.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 91 рисунок, 8 таблиц, библиографический список из 42 источника, включая зарубежные публикации.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дано обоснование актуальности темы, сформулирована цель и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** представлен обзор литературных источников по рассматриваемой теме и описаны особенности формоизменения металла при радиально-сдвиговой прокатке. Проведен анализ работ таких известных ученых, как Чекмарев А.П., Ваткин Я.Л., Потапов И.Н., Полухин П.И., Смирнов В.С., Фомичев И.А., Тетерин П.К., Швейкин В.В., Коликов А.П., Никулин А.Н. и др. Особое внимание уделено преимуществам радиально-сдвиговой прокатки перед другими способами деформации. Отмечены такие преимущества, как уплотнение и интенсивность проработки структуры по всему сечению заготовки, возможность получения различные схемы напряженно-деформированного состояния металла заготовок. Подробно рассмотрен вопрос, связанный с формоизменением сплошных круглых заготовок при прокатке на стане радиально-сдвиговой прокатки. Проведено исследование причин образования утяжин на концах заготовки и влияния факторов на их глубину. Кроме того был изучен вопрос, связанный с изменением структуры металла в процессе радиально-сдвиговой прокатки. На основании рассмотренных литературных источников был сделан вывод о том, что для уменьшения неравномерности деформации, максимальной проработки структуры металла в осевой зоне заготовки прокатку следует вести при повышенных углах подачи. Для минимизации глубины утяжины на заднем торце заготовки перед деформацией в стане винтовой прокатки необходимо производить профилирование конца заготовки и принудительно охлаждать наружную поверхность.

**Вторая глава** посвящена исследованию формоизменения непрерывно-литой заготовки при прокатке в трехвалковом обжимном стане, а также в процессе профилирования ее заднего конца. Кроме того в главе представлены результаты исследования влияния температурных полей на формоизменение концевой части

заготовки. С целью внедрения технологии изготовления труб из непрерывно-литой заготовки в линии ТПА-80 был установлен трехвалковый стан и освоена технология радиально-сдвиговой прокатки (РСП). При освоении новой технологии возникла проблема, связанная с образованием утяжин на концах заготовки после РСП, являющихся причиной отрыва кольцевых отслоений при прошивке (рисунок 1) и увеличение объема брака по вмятинам.

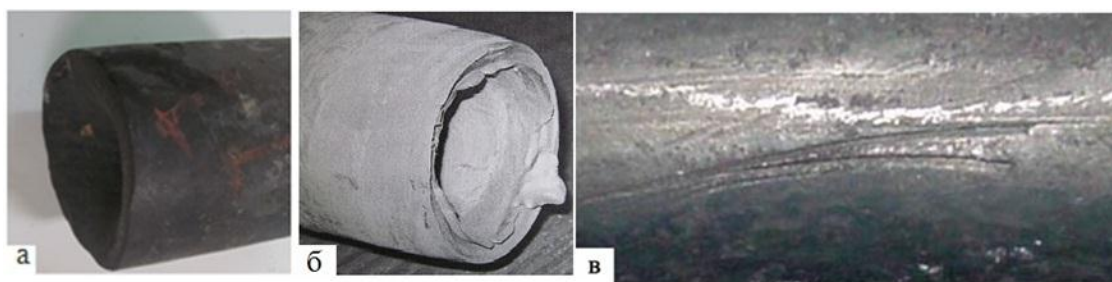


Рисунок 1 - Образование утяжины на заготовке (а), кольцевое отслоение на гильзе (б), характерный вид дефекта «вмятина» на наружной поверхности труб (в)

В ходе наблюдения за процессом обжатия было замечено, что на заготовках, имеющих после раскроя на ножницах горячей резки смятый конец выпуклой формы, образование утяжин происходит в меньшей степени, чем на заготовках с перпендикулярным (ровным) концом. Поэтому с помощью программного комплекса Deform-3D проведено исследование влияния формы заднего конца заготовки на глубину утяжин, образующихся в процессе радиально сдвиговой прокатки. На рисунке 2 представлены формы задних концов заготовок, которые

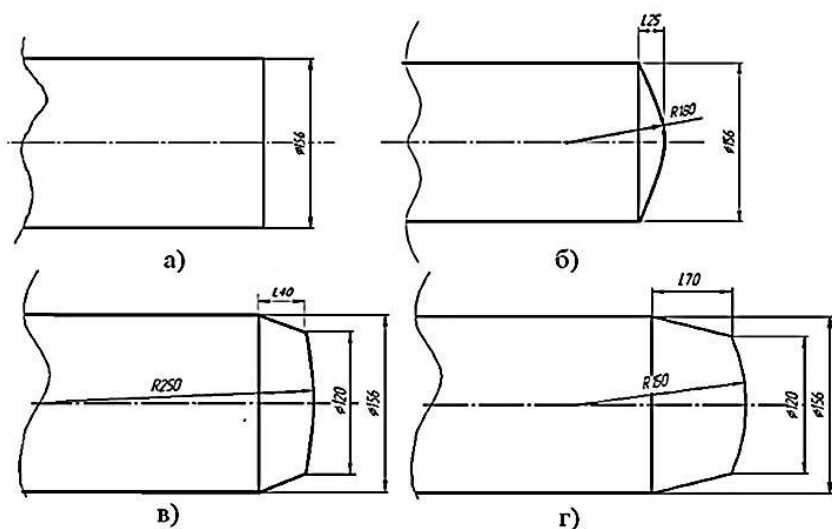
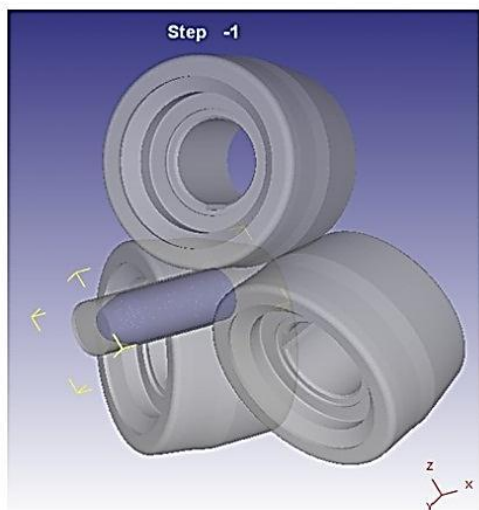


Рисунок 2- Формы задних концов заготовок

использовались в моделировании. На рисунке 3 представлена твердотельная модель трехвалкового обжимного стана. Моделирование процесса обжатия заготовок с четырьмя различными формами заднего конца в Deform-3D осуществлялось





при угле подачи валков  $\beta=16^\circ$ , угле раскатки  $\varphi=12^\circ$  и частоте вращения валков  $n=80$  об/мин.

По окончании процесса моделирования производились замеры глубины утяжины, образовавшихся на прокатанных заготовках. Схема для измерения заднего торца заготовки после моделирования процесса обжатия

Рисунок 3- Модель трехвалкового обжимного стана в Deform-3D представлена на рисунке 4. Было установлено, что с увеличением длины конуса  $L$  от 0 до 70 мм (рисунок 2) происходит уменьшение средней глубины утяжины от 41,83 до 11,59. Наименьшая глубина утяжины имеет место при прокатке заготовок с усеченным конусом длиной  $L=70$  мм.

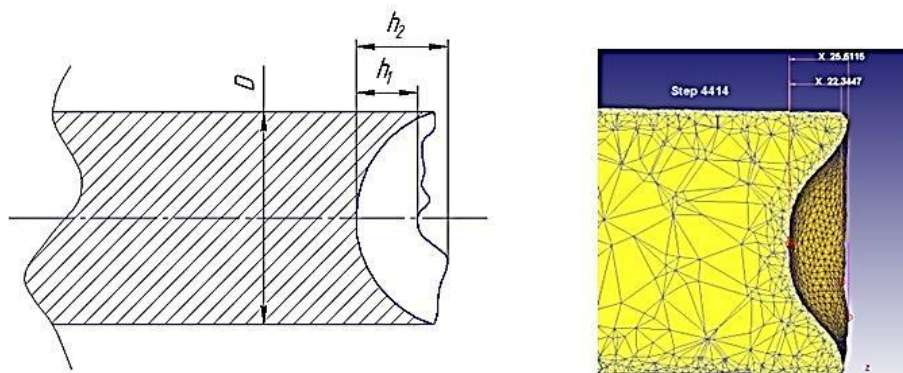
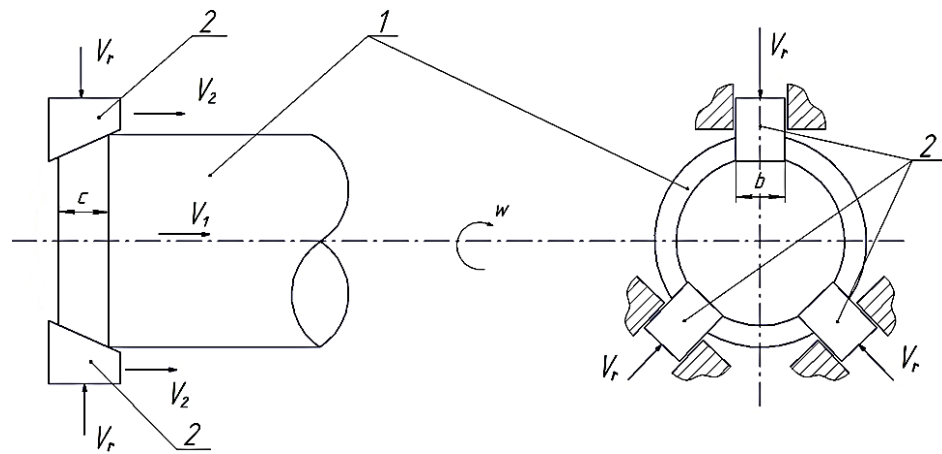


Рисунок 4 - Схема для измерения заднего торца заготовки после моделирования процесса обжатия

В главе также дано описание предлагаемого способа профилирования конца заготовки в виде усеченного конуса (рисунок 5). В соответствии с предлагаемым способом процесс профилирования совмещен с прокаткой в трехвалковом обжимном стане. Профилирование заднего конца заготовки 1 осуществляется с помощью инструмента деформации 2 (бойки). Бойки в осевом направлении могут перемещаться со скоростью  $V_2$ , равной скорости перемещения заготовки  $V_1$ .



1- заготовка; 2 – инструмент деформации (бойки).

Рисунок 5- Принципиальная схема обжатия заднего конца заготовки

Предварительное теоретическое исследование формоизменения металла при профилировании заднего конца заготовки показало, что вариант, когда  $V_1=V_2$  лучше, чем вариант, когда  $V_2>V_1$ , так как во втором случае на границе инструмент-деформируемый металл обнаруживается кольцевая область увеличенного диаметра, то есть наплыв металла. В дальнейшем на прошивном стане этот наплыв раскатывается, способствуя увеличению глубины утяжины и повышая вероятность образования части металла в виде полуколец, которые являются основной причиной образования на поверхности труб вмятин.

Математическое моделирование процесса профилирования заднего конца заготовки проведено для разработки калибровки бойков и режимов деформации, которые позволили бы формировать на заднем конце заготовки усеченный конус длиной  $L=70$  мм (рисунок 2, г) с целью минимизации глубины утяжины на заднем конце заготовки в процессе прокатки в трехвалковом обжимном стане. Всего было опробовано 4 различных калибровки бойков (рисунок 6, а, б, в, г). Скорость движения бойков в каждой задаче задавалась исходя из времени профилирования заднего конца заготовки в виде усеченного конуса (рисунок 2, г). В таблице 1 представлена матрица задач математического моделирования. Было установлено, что в большинстве задач моделирования процесса профилирования конца заготовки происходит формирование утяжины на торце, что не допустимо, поскольку при прокатке в трехвалковом обжимном стане эти утяжины приобретут

еще большую глубину. На основе результатов измерения глубины утяжины на конце заготовки для всех 12 задач были построены графики, представленные на рисунке 8. При создании твердотельных моделей бойков для постановки задач №1, 2 и 3 за основу была взята калибровка бойков, полученная в ходе физического моделирования, представленного в главе 3.

На рисунке 7 изображена твердотельная модель устройства для профилирования заднего конца заготовки

Таблица 1 - Матрица задач математического моделирования

№ задачи п/п	Время профилирования, с	Угловая скорость вращения бойков, рад/с	Номер калибровки бойков
1	0,1	2,500	Калибровка 1
2	1	0,250	
3	2	0,125	
4	0,1	2,500	Калибровка 2
5	1	0,250	
6	2	0,125	
7	0,1	2,500	Калибровка 3
8	1	0,250	
9	2	0,125	
10	0,1	2,500	Калибровка 4
11	1	0,250	
12	2	0,125	

По данным, полученным в ходе измерения глубины утяжины на задних концах спрофилированных заготовок, были построены графики, характеризующие зависимость глубины утяжины от времени профилирования и типа калибровки (рисунок 8).

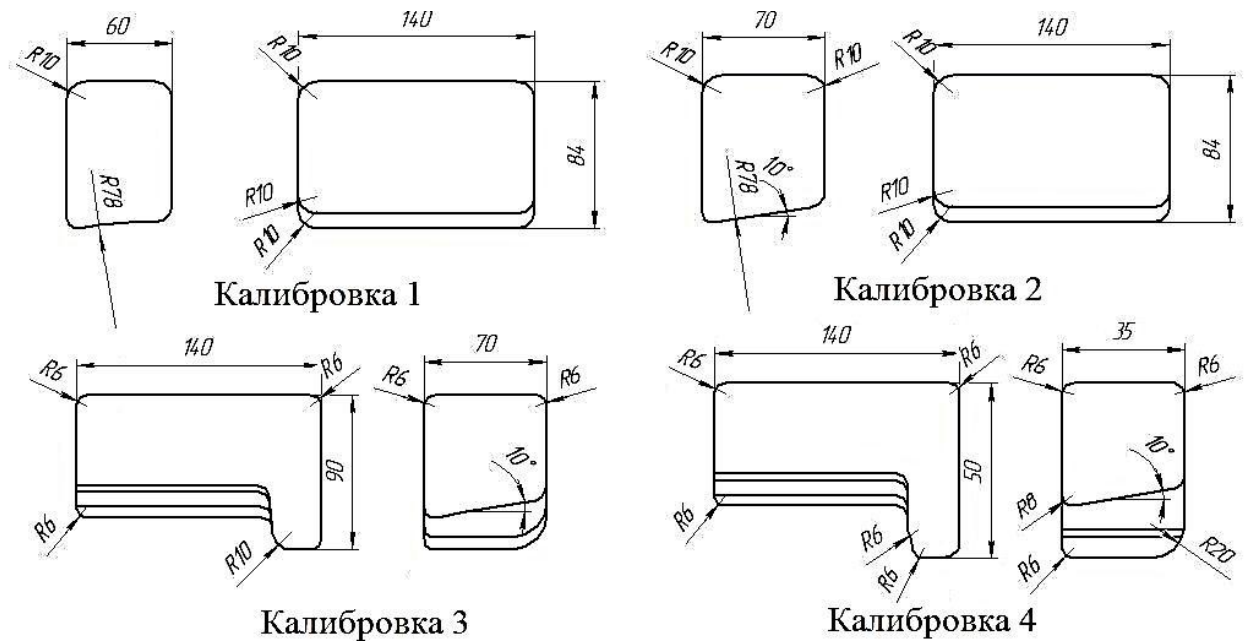


Рисунок 6 – Виды калибровок бойков для обжатия конца заготовки

Из графиков, изображенных на рисунке 8, видно, что с увеличением времени профилирования от 0,1 до 2 с происходит увеличение глубины утяжины на заднем конце заготовки. Однако, при большой скорости профилирования (время профилирования 0,1 с) происходит отслоение металла с поверхности заготовки. Поэтому можно сделать вывод о том, что процесс профилирования необходимо проводить за время 1-2 с. Также из рисунка 8 видно, что наименьшее значение глубины утяжины на заднем торце заготовки достигается при использовании калибровок бойков с гребнем (калибровка 3 и 4). При использовании калибровки 3 и времени профилирования 1 с (задача №8), удалось избежать образования утяжины и сформировать на конце заготовки усеченный конус формой и размерами (рисунок 2, г), обеспечивающими минимизацию глубины утяжины, образующейся в процессе прокатки в трехвалковом обжимном стане радиально-сдвиговой прокатки.

Исследование влияния температурных полей на формоизменение конца заготовки в процессе профилирования было выполнено с помощью программного комплекса Deform – 3D.

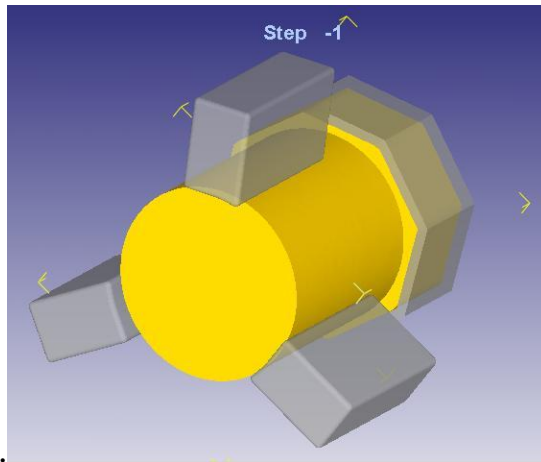


Рисунок 7 - Твердотельная модель устройства для профилирования заднего конца заготовки

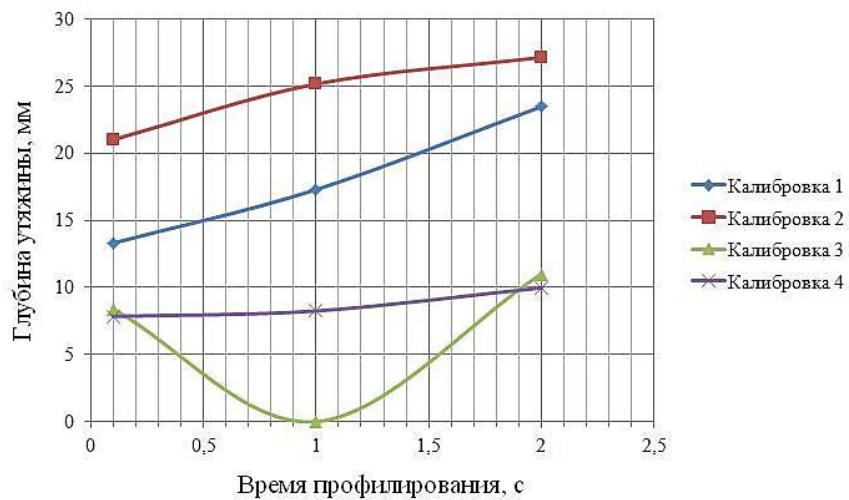


Рисунок 8 – Графики, характеризующие зависимость глубины утяжины от времени профилирования и типа калибровки

Принудительное охлаждение конца заготовки в спреерном устройстве позволяет повысить эффективность процесса профилирования и уменьшить глубину утяжины. Для оценки влияния температурных полей на формоизменение конца заготовки при профилировании была поставлена задача по формоизменению заготовки с наружным охлажденным слоем.

При постановке задачи все исходные параметры: материал заготовки, коэффициенты трения, температура инструмента, количество конечных элементов, частота вращения заготовки, калибровка бойков – были заданы

такими же как и в задаче №2. Температура центральной части заготовки была принята равной 1200°C, а температура наружного слоя - 1100°C. На рисунке 9 представлена модель заготовки с охлажденным наружным слоем.

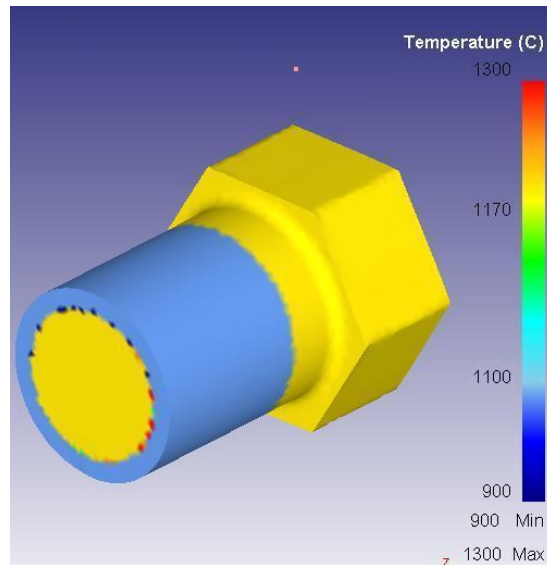


Рисунок 9 - Модель заготовки с охлажденным наружным слоем

На рисунке 10 представлены заготовка и ее продольный разрез после профилирования.

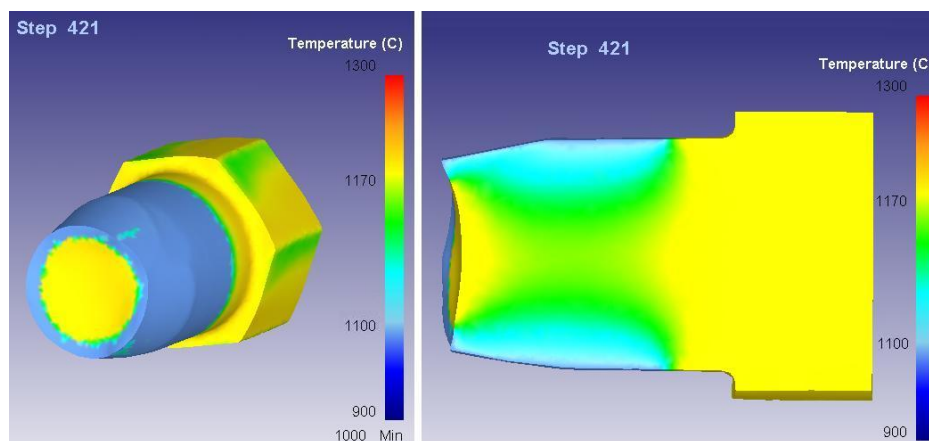


Рисунок 10- Заготовка и ее продольный разрез после профилирования

Средняя глубина утяжины на конце заготовки после профилирования составила 10,8 мм, а в задаче №2 (таблица 1) – 17,29 мм. На рисунке 11 представлена диаграмма, характеризующая глубину утяжины после профилирования заготовки без охлажденного наружного слоя (а) и с охлажденным наружным слоем (б).

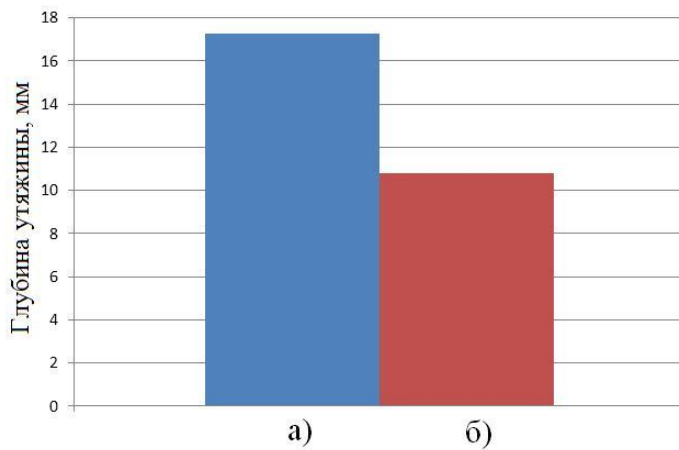


Рисунок 11 - Диаграмма, характеризующая глубину утяжины после профилирования заготовки без охлажденного наружного слоя (а) и с охлажденным наружным слоем (б).

Из диаграммы на рисунке 11 видно, что охлаждение наружного слоя заготовки позволяет уменьшить глубину утяжины на 37,5%. В связи с этим при выполнении рабочего проекта реконструкции входной стороны трехвалкового обжимного стана предусмотреть установку спреера.

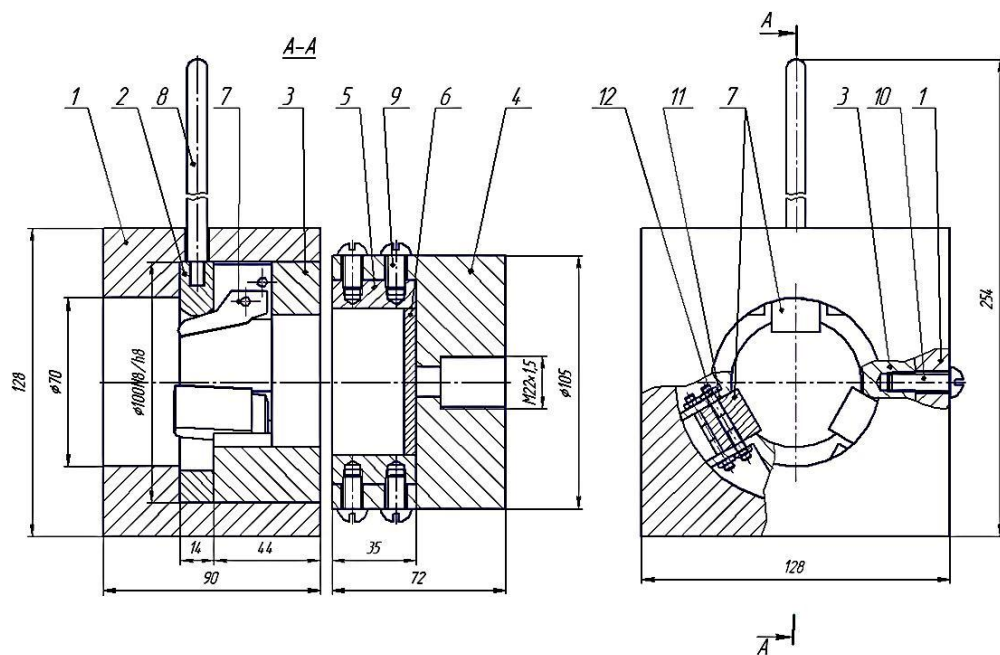
В результате комплексных исследований процесса образования утяжины на конце заготовки при прокатке в трехвалковом обжимном стане и в процессе профилирования ее конца, выполненных с целью минимизации размеров утяжин и уменьшения количества поверхностных дефектов на готовых трубах, сделаны следующие выводы:

- придание специальной формы концам заготовки перед прокаткой в трехвалковом обжимном стане позволяет уменьшить глубину утяжин на 72 %, а также максимально снизить риск отрыва кольцевого отслоения на заднем конце гильзы при прошивке;
- с увеличением скорости профилирования заднего конца заготовки глубина утяжины уменьшается, однако при слишком высокой скорости деформации происходит отслоение металла с поверхности заготовки; были определены калибровка бойков и режимы деформации, обеспечивающие формирование в



- процессе профилирования на заднем конце заготовки усеченного конуса требуемой формы;
- охлаждение поверхностных слоев металла заготовки в линии ТПА-80 перед профилированием заднего конца является эффективным с точки зрения уменьшения размеров утяжин.

**Третья глава** посвящена физическому моделированию нового процесса обжатия заготовки. Также в главе показаны результаты исследования влияния формы конца заготовки на ее формоизменение при прокатке в трехвалковом обжимном и прошивном станах в промышленных условиях. Кроме того рассмотрен проект модернизации лабораторного трехвалкового стана винтовой прокатки. Для проведения экспериментов разработано устройство для моделирования процесса профилирования заднего конца заготовки (рисунок 12).



- 1- корпус; 2 – нажимное устройство; 3 – втулка; 4 – стакан (для крепления заготовки на фрезерном станке); 5 – вкладыши (для закрепления заготовки в стакане); 6 – пластина; 7 – боек; 8 – рычаг; 9 – винты; 10- винты; 11 – ось; 12 - гайка

Рисунок 12 - Устройство для моделирования процесса профилирования заднего конца заготовки



В качестве модельного материала образцов использовался скульптурный пластилин. В ходе экспериментов были установлены калибровки бойков (инструмента деформации) и режимов обжатия, позволяющих формировать в процессе обжатия конец заготовки в виде усеченного конуса с выпуклым торцом.

Испытания проводились на установке с использованием привода фрезерного станка в лаборатории кафедры «Обработка металлов давлением». При физическом моделировании образец и инструмент деформации (бойки) не имеют осевого перемещения, то есть  $\Delta V = V_2 - V_1 = 0$  (где  $V_2$  - скорость осевого перемещения инструмента деформации,  $V_1$  - скорость осевого перемещения заготовки). При разработке технического предложения было поставлено условие, что скорости поступательного движения заготовки и инструмента деформации должны быть равны  $V_2 = V_1$ , то есть  $\Delta V = V_2 - V_1 = 0$ . Таким образом, результаты, полученные при физическом моделировании, отвечают критериям подобия модели и натуры. В ходе лабораторных испытаний опробовано пять калибровок бойков. С использованием каждой калибровки бойков обжато по 2 образца. После каждого испытания производились измерения обжатого конца образца в соответствии со схемой, представленной, на рисунке 13.

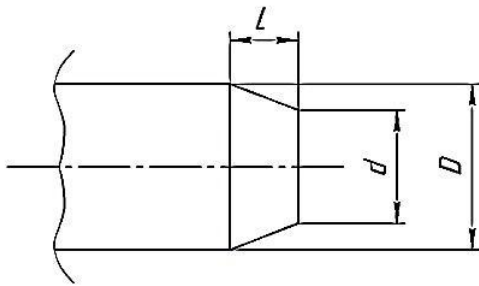


Рисунок 13 - Схема для измерения обжатого конца образца

Все образцы изготовлены в соответствии с масштабом моделирования в соотношении 1:3 к размерам промышленной непрерывно-литой заготовки. На рисунке 14 представлены форма и размера образца.

Также в главе представлено описание технологии изготовления пластилиновых образцов путем прессования на специально спроектированной и изготовленной установке.

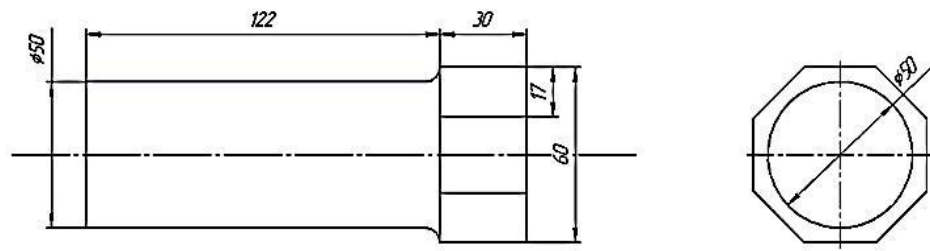


Рисунок 14 - Форма и размеры образца

В ходе экспериментов была определена калибровка бойков (инструмента деформации) и режимы обжатия, позволяющие формировать в процессе обжатия с учетом масштаба моделирования 1:3 конец заготовки в виде усеченного конуса с размерами, близкими к размерам, представленным на рисунке 2, г. На рисунке 15 представлен образец, полученный при профилировании.



Рисунок 15 - Образец, полученный после профилирования

Наряду с указанными лабораторными опытами были проведены промышленные испытания по прокатке в трехвалковом обжимном и прошивном станах. Для этого опытные заготовки из стали 38Г2СФ диаметром 156 мм после нагрева подвергли

прокатке на трехвалковом стане, а затем половину из них прошивке на прошивном стане. Всего прокатано восемь опытных заготовок, четыре из них были выброшены в карман после обжимного стана, а четыре гильзы – в карман после прошивного стана для исследования концевой части. В эксперименте прокатывали непрерывно-литые заготовки с формами задних концов, представленных на рисунке 2. Концевые части заготовок были изготовлены обработкой резанием. На рисунке 16 представлены фотографии задних концов обжатой заготовки и гильзы. В результате было установлено, что с увеличением

длины конуса  $L$  от 0 до 70 мм (рисунок 2) средний размер утяжины уменьшается от 38,75 мм до 4,7 мм.



Рисунок 16 - Фото задних концов обжатой заготовки и гильзы (заготовка с выпуклым торцом размером  $L=25\pm 5$  мм с  $R=180$  мм)

Как показали результаты промышленного исследования процесса отслоения металла на заднем конце гильзы в процессе прошивки при глубине утяжины более 18,5 мм, наблюдается уменьшение толщины кольцевого отслоения и возникает опасность его отрыва, что приводит к образованию на наружной поверхности труб вмятин. Для гильзы, полученной по варианту 1 (рисунок 2, а), кольцевое отслоение из-за незначительной толщины основания ( $S = 0,45 \dots 0,65$  мм) при прошивке оборвалось. При прошивке обжатой заготовки, изготовленной по второму варианту (рисунок 2, б) образовалось полукольцо на заднем конце гильзы (рисунок 16, б), которое отслаивается от внутренней поверхности металла и имеет малую толщину ( $S_{cp} = 1,11$  мм). Толщина кольцевого отслоения металла на гильзах, полученных по третьему и четвертому вариантам, составляют величины одного порядка:  $S_{cp} = 4,2$  мм – по третьему варианту (рисунок 2, в) и  $S_{cp} = 5,2$  мм – по четвертому варианту (рисунок 2, г). При толщине кольцевого отслоения более 4,2 обрыв кольцевого отслоения маловероятен. В связи с этим можно сделать вывод, что длина спрофилированного конца должна быть более 50 мм.

На рисунке 17 представлены графики, характеризующие среднюю глубину утяжины  $h_{cp}$  в зависимости от варианта формы заднего конца заготовки при промышленном исследовании и моделировании процесса обжатия в программе Deform-3D.

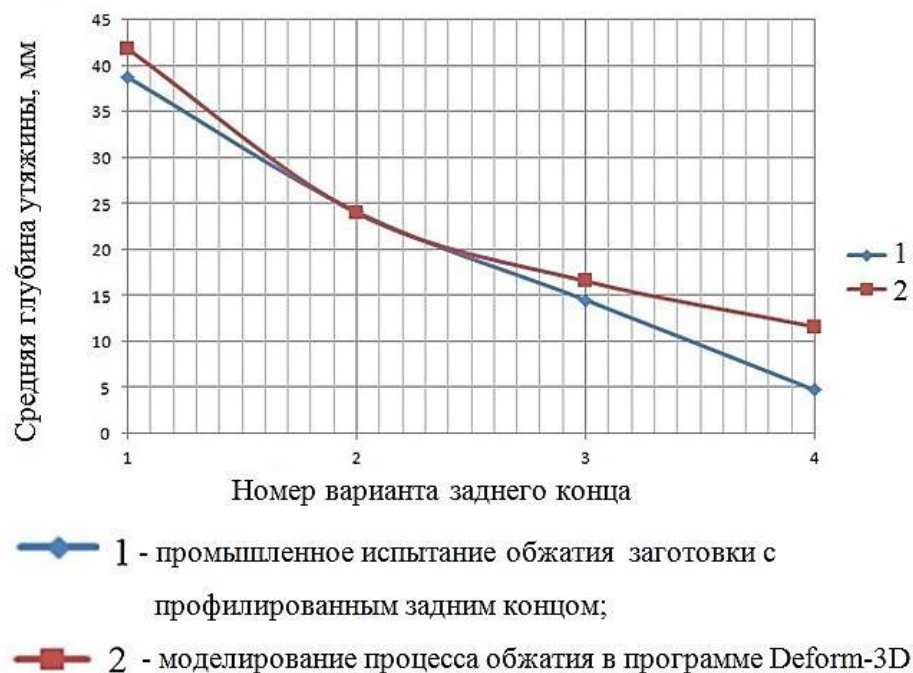


Рисунок 17 - Графики, характеризующие среднюю глубину утяжины  $h_{cp}$  в зависимости от варианта формы заднего конца заготовки при промышленном исследовании и моделировании процесса обжатия в программе Deform-3D

Из рисунка 17 видно, что результаты замеров глубины утяжины на практике и при моделировании процесса в программе Deform-3D достаточно близки: разница средней глубины утяжины  $\Delta h_{cp}$  для заготовки с плоским торцом составляет 3,08 мм; для заготовки с выпуклым торцом ( $L=25$  мм,  $R=180$  мм)  $\Delta h_{cp}=0,93$  мм; для заготовки с усеченным конусом и выпуклым торцом ( $L=40$  мм,  $R=250$  мм)  $\Delta h_{cp}=2,05$  мм; для заготовки с усеченным конусом и выпуклым торцом ( $L=70$  мм,  $R=150$  мм)  $\Delta h_{cp}=6,89$  мм.

В соответствии с программой промышленного исследования четыре обжатые заготовки были подвергнуты прошивке, а полученные гильзы были обследованы. Важным является исследование кольцевого отслоения металла образующегося на гильзе при прошивке.

Дальнейшее совершенствование технологии и повышение технико-экономических показателей ТПА-80 требуют проведения физического моделирования процессов винтовой прокатки. С этой целью на кафедре «Обработка металлов давлением» была произведена модернизация лабораторного

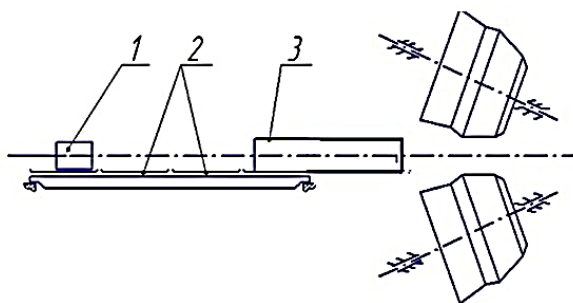
стана В-60 с установкой Системы автоматизированного управления трехвалковым станом (АСУ ТС). АСУ ТС реализована на базе современных технических средствах фирмы «Siemens» и строится как многоуровневая структура, состоящая из 3-х уровней (нижний уровень, средний уровень, верхний уровень).

АСУ ТС выполняет следующие основные функции: контроль параметров приводов; сигнализацию при аварийных ситуациях; диагностику оборудования; управление работой стана в ручном и автоматическом режимах; выдачу отчетных документов; индивидуальные блокировки включения приводов; блокировки направления вращения приводов; контроль датчиков и состояния приводов с выдачей аварийных и предупредительных сообщений; в реальном времени сбор, обработку и отображение параметров в виде динамических мнемосхем, диаграмм, таблиц и трендов; производит организацию и ведение архивов технологических параметров и событий.

В результате проведения физического моделирования процесса профилирования заднего конца заготовки и промышленного эксперимента, направленных на выбор оптимальной, с точки зрения получения требуемой формы заднего конца заготовки, калибровки бойков были сделаны следующие выводы:

- при профилировании заготовки диаметром 50 мм из скульптурного пластилина бойками с контактной поверхностью с одним выпуском, выполненной по радиусу в вершине  $R=25$  мм, удастся на конце заготовки сформировать усеченный конус требуемой формы, с точки зрения минимизации глубины утяжины.
- результаты промышленного эксперимента подтверждают результаты, полученные при математическом моделировании. При формировании на заднем конце заготовки усеченного конуса длиной 70 мм удастся минимизировать глубину утяжины и исключить обрыв кольцевого отслоения на заднем конце гильзы.

**Четвертая глава** посвящена разработке технологического задания на реконструкцию входной стороны трехвалкового обжимного стана. В главе разработано техническое задание на реконструкцию входной стороны обжимного стана ТПА-80 ОАО «СинТЗ» с целью совмещения процесса обжатия непрерывно-литой заготовки диаметром 150 мм или 156 мм до диаметра 120 – 123 мм с операцией профилирования заднего конца заготовки в виде усеченного конуса. На



рисунке 18 представлена схема расположения оборудования на входной стороне обжимного стана после реконструкции.

Рисунок 18 - Схема расположения оборудования на входной стороне обжимного стана

В состав оборудования обжимного стана входят:

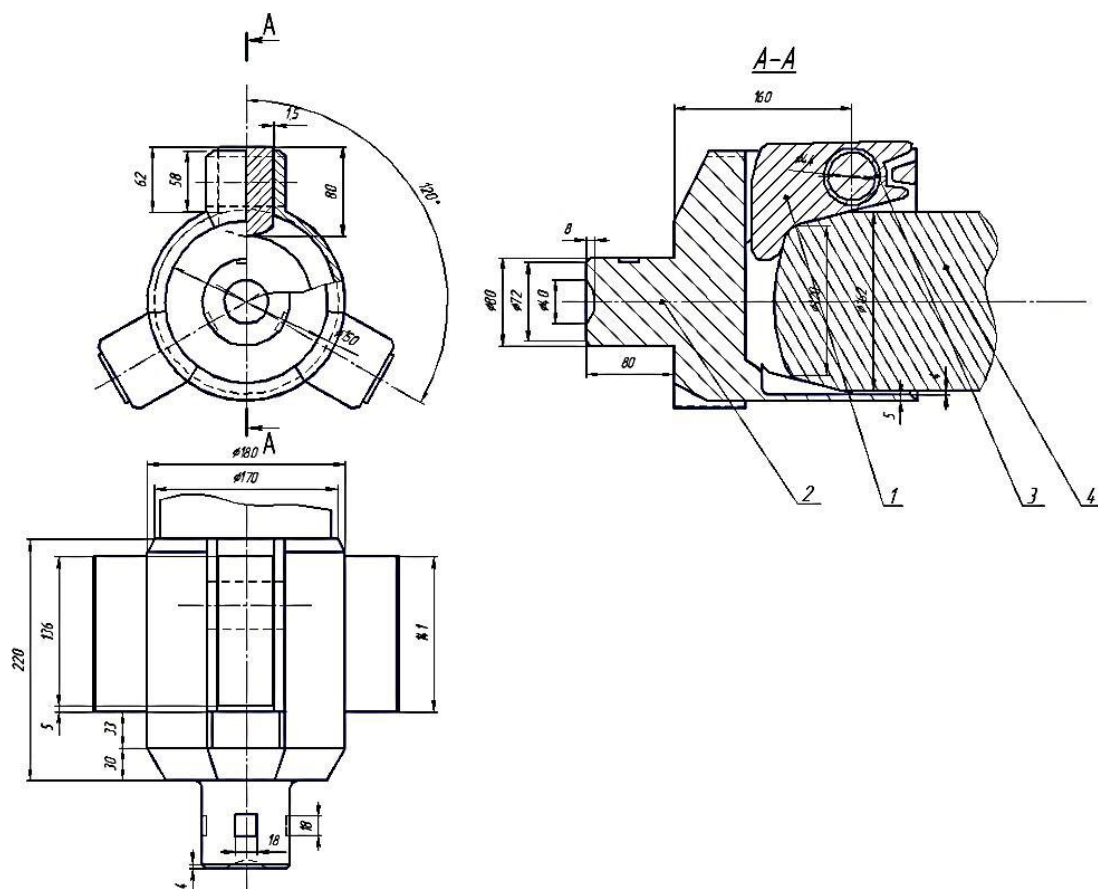
вталькиватель заготовки 1 (рисунок 18), на котором шарнирно закрепляются бойки; четыре секции желоба 2; механизм радиальной настройки инструмента деформации для профилирования заднего конца заготовки устанавливается во входной проводке 3. Установка новых механизмов втапливателя заготовки и радиальной настройки инструмента деформации осуществляется без изменения существующей компоновки основных узлов входного стола обжимного стана.

В главе проведен кинематический расчет процесса профилирования заднего конца заготовки, в ходе которого установлено, что шаг винтовой линии на входной стороне трехвалкового обжимного стана равен  $S=60$  мм/об. Время прокатки заготовки длиной  $l=2050$  мм составляет 6,73 с, а время формовки заднего конца заготовки – 1-2 с. Длина рабочей части копира нажимного устройства должна быть не менее 320 мм, а в процессе профилирования конца заготовки совершать  $\approx 5-10$  об, что вполне достаточно для формирования на заднем конце заготовки усеченного конуса с выпуклым торцом.

Новая конструкция втапливателя представлена на рисунке 19. В пазах корпуса 2 (рисунок 19) втапливателя установлены три бойка 1, которые являются инструментом деформации. В процессе деформации втапливатель перемещается



по направляющим желоба переднего стола и входной проводки. При перемещении вталкивателя по профильным планкам нажимного устройство происходит их (бойков) сведение и профилирование заднего конца заготовки.



1-боек; 2-корпус; 3- подшипник; 4 - заготовка

Рисунок 19 - Новая конструкция вталкивателя

Особенностью предлагаемой конструкции является центрирование заднего конца заготовки по оси прокатки, что обеспечивает профилирование его в виде усеченного конуса в момент контакта бойков и нажимного устройства, установленного во входной проводке. Наконечник вталкивателя соединяется со штоком пневмоцилиндра способом, применяемым в действующем на предприятии вталкивателе.

Новая конструкция желоба (рисунок 20) обеспечивает прием заготовки с наклонной решетки, надежное удержание ее на желобе, беспрепятственное перемещение вталкивателя по направляющим.

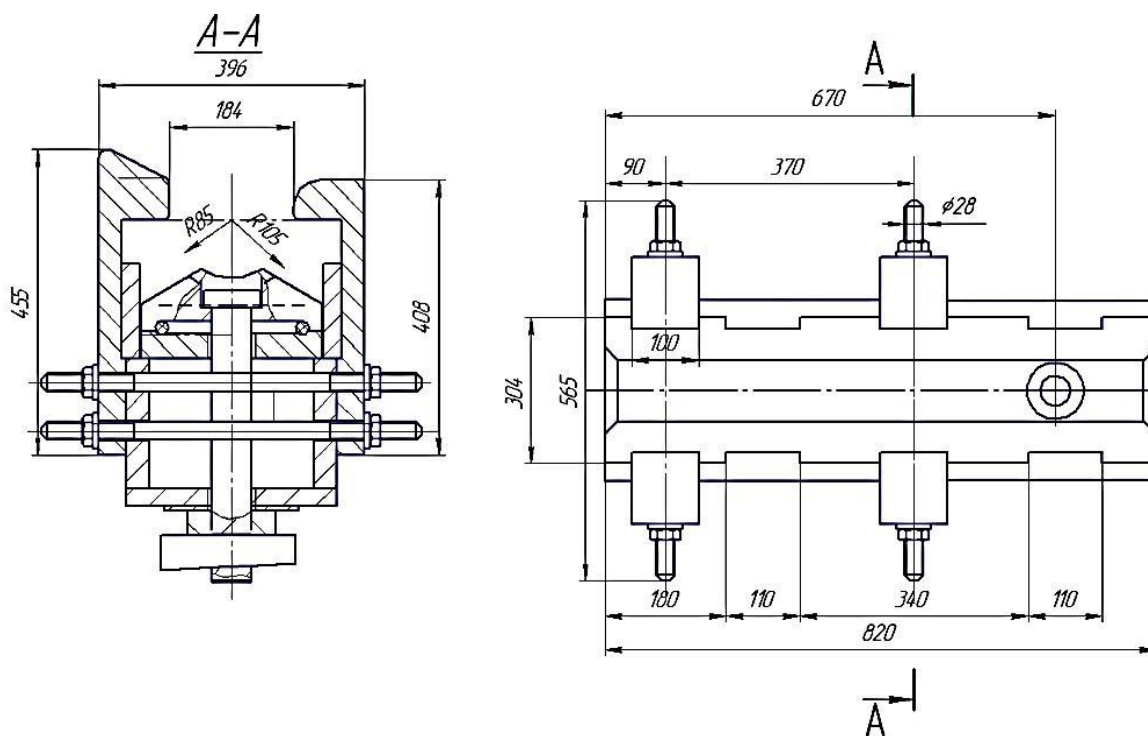


Рисунок 20 – Новая конструкция желоба

Новая конструкция проводки (рисунок 21) обеспечивает задачу заготовки в валки обжимного стана строго по оси прокатки, уменьшая колебательное движение конца заготовки и его профилирование бойками вталкивателя под действием нажимного устройства во входной проводке, воспринимающей крутящий момент в процессе профилирования заднего конца и передающей его на фундамент.

Входная проводка состоит из трех частей: входной участок; участок профильных планок (нажимное устройство); цилиндрический участок для уменьшения колебательного движения конца заготовки в процессе захвата и прокатки в трехвалковом обжимном стане. В донной части пазов нажимного устройства устанавливаются профильные планки, которые имеют четыре участка: наклонные направляющие (1:20) на длине 225 мм; горизонтальные направляющие на длине 50 мм (эти участки предназначены для центрирования вталкивателя по оси прокатки и для формоизменения овального конца заготовки в цилиндр, что предотвратит возможное подтормаживание заготовки при последующем профилировании заднего конца); рабочий участок проводки длиной 320 мм





- в соответствии с кинематическим расчетом профилирование заднего конца заготовки должно осуществляться за 1-2 с, что вполне достаточно для формирования усеченного конуса на конце заготовки;
- представленные конструкции вталивателя, желоба и входной проводки позволят производить профилирование и обжатие заготовки любой, применяемой в цехе, длины.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной диссертационной работы достигнута поставленная цель и получены следующие результаты:

1. Разработан новый способ обжатия непрерывно-литой заготовки в трехвалковом стане винтовой прокатки, основанный на совмещении процессов профилирования заднего конца заготовки в виде усеченного конуса и прокатки в трехвалковом обжимном стане.

2. Изучено формоизменение конца заготовки при прокатке в трехвалковом обжимном и прошивном станах. Согласно данным, полученным в ходе промышленного исследования и при моделировании в программе Deform-3D, наименьшие значения глубины утяжины имеют место при обжатии заготовки с усеченным конусом длиной  $L=70$  мм. При этой же форме заднего конца заготовки толщина кольцевого отслоения имеет наибольшее значение, равное 4,7 мм. Такая толщина кольцевого отслоения позволяет предотвратить его обрыв и уменьшить объем брака по вмятинам.

3. В ходе физического и математического моделирования процесса профилирования конца заготовки изучено формоизменение заготовки и получены следующие выводы:

- с увеличением скорости профилирования происходит уменьшение глубины утяжины. При большой скорости профилирования (деформация за 0,1 с) происходит отслоение металла на поверхности заготовки;

- разработана рациональная калибровка бойков и режимы деформации, обеспечивающие формирование на заднем конце заготовки усеченного конуса длиной 70 мм без утяжины.

4. Проведено моделирование процесса профилирования конца заготовки с охлажденным наружным слоем. Установлено, что охлаждение наружного слоя на конце заготовки перед профилированием позволяет существенно уменьшить глубину утяжины. В связи с этим при выполнении рабочего проекта реконструкции входной стороны трехвалкового обжимного стана необходимо предусмотреть установку спреера.

5. Разработан рабочий проект устройства для физического моделирования процесса профилирования конца заготовки. Разработаны чертежи бойков, втулки для крепления бойков, нажимного устройства, стакана для крепления образцов, а также устройства для прессования образцов. В ходе физического моделирования найдена калибровка бойков, обеспечивающая формирование на конце заготовки усеченного длиной 24 мм, что соответствует длине 72 мм при учете масштаба моделирования 1:3.

6. Разработаны чертежи эскизного проекта реконструкции оборудования входной стороны трехвалкового обжимного стана ТПА-80 ОАО «СинТЗ»: вталкиватель новой конструкции; желоба новой конструкции; входная проводка новой конструкции.

Таким образом, в диссертации представлены теоретические, технологические и технические разработки по совершенствованию процесса обжатия непрерывно-литой заготовки, что имеет существенное значение для развития технологии производства горячекатаных труб.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.**

**В рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:**

1. Богатов А. А., Овчинников Д. В., Липнягов С.В., Павлов Д. А., Нухов Д. Ш., Ерпалов М. В. Разработка математической модели и исследование процессов

винтовой прокатки и прошивки заготовок// Производство проката. №7- 2013. – с. 28-33.

2. Богатов А.А., Павлов Д.А, Овчинников Д.В., Липнягов С.В., Нухов Д. Ш. МКЭ-моделирование и оптимизация нового способа обжатия непрерывно-литой заготовки// Черные металлы. №11 – 2013. – с. 26-31

#### **В сборниках трудов научных конференций:**

3. Овчинников Д.В., Богатов А.А., Павлов Д.А., Липнягов С.В., Нухов Д.Ш.. Разработка и исследование нового способа обжатия непрерывно-литой заготовки на трехвалковом стане винтовой прокатки// Труды XIV Международной научной конференции «Новые технологии и достижения в металлургии и материаловедении», г. Ченстохова. – 2013. - с. 342-351.
4. Овчинников Д.В., Богатов А.А., Павлов Д.А., Липнягов С.В. Разработка математической модели процесса формоизменения заготовки при винтовой прокатке// Труды X международной научно-технической конференции «СММТ'13», г. С.-Петербург- 2013. – с. 378-384.
5. Овчинников Д.В., Богатов А.А., Липнягов С.В., Павлов Д.А., Нухов Д.Ш. Исследование процесса производства горячекатанных труб и разработка новых технических решений на ТПА – 80 ОАО «СинТЗ»// Труды IX конгресса прокатчиков, г. Череповец. – 2013. - с. 128-133.

Отпечатано в типографии ООО «Издательство УМЦ УПИ»

620062, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35 а, оф.2

Тел.: (343) 362-91-16, 362-91-17